



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Fakultet  
elektrotehnike i  
računarstva

**Diplomski studij**

**Računarstvo**

Znanost o mrežama

Programsko inženjerstvo i informacijski  
sustavi

Računalno inženjerstvo

**Informacijska i komunikacijska tehnologija**

Automatika i robotika

Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo

**Elektrotehnika i informacijska tehnologija**

Audiotehnologije i elektroakustika

Elektroenergetika

**(Izborni predmet profila)**

# Internet stvari

2. Stvari i uređaji u IoT okruženju  
(fizički sloj): senzori, aktuatori, prilaz  
(gateway), komunikacija M2M

Ak. god. 2022./2023.



# Sadržaj

- Internet stvari (engl. *Internet of Things*, IoT)
- Sloj uređaja
- Sloj podatkovne poveznice: M2M-komunikacija
- Primjeri uređaja/prilaza za IoT

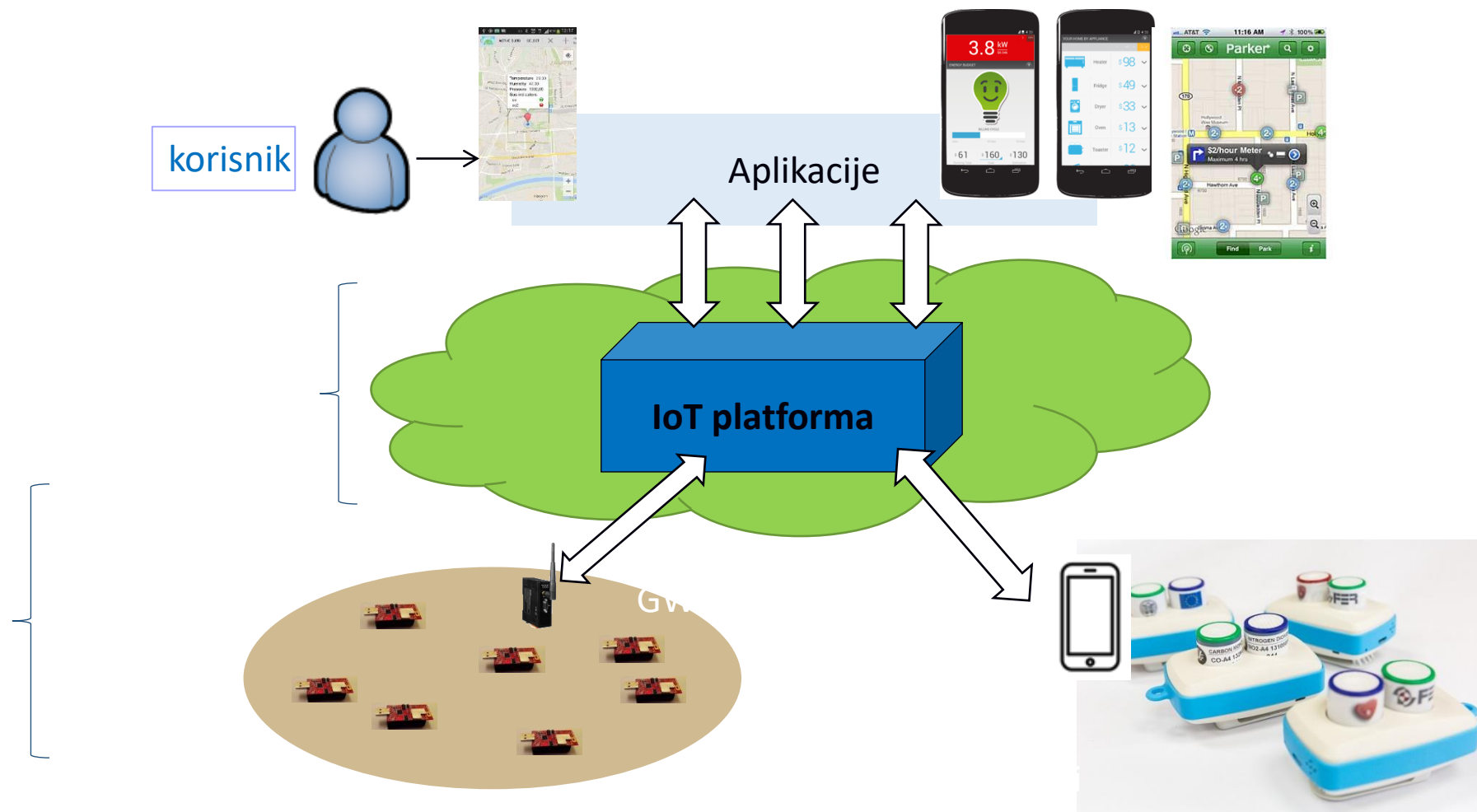
# Internet stvari

Definicija\*:

“A global infrastructure for the information society enabling advanced services by interconnecting (physical and virtual) things based on, existing and evolving, interoperable information and communication technologies” (ITU work on Internet of things, 2015).

„Globalna mrežna infrastruktura koja povezuje fizičke i virtualne objekte iskorištavajući dohvat podataka i komunikacijske mogućnosti. Ta infrastruktura uključuje postojeći i nastajući Internet i razvoj mreža. Omogućit će specifičnu identifikaciju objekata, senzore i povezivanje kao osnovu za razvoj neovisnih kooperativnih usluga i aplikacija. Sve će biti obilježeno visokim stupnjem samostalnog prikupljanja podataka, prijenosa događaja, mrežnog povezivanja i međudjelovanja.“ (CASAGRAS, EU Framework 7 Project “Coordination And Support Action for Global RFID-related Activities and Standardisation”, 2009.)

# Pojednostavljena arhitektura Interneta stvari



# IoT ekosustav

- (Pametni) uređaji – „stvari”: senzori i aktuatori
- Mrežna infrastruktura temeljena na protokolu IP:
  - Nepokretne mreže (xDSL, optika)
  - Pokretne mreže (2G, 3G, 4G, 5G) – NB-IoT, LTE-M
  - Bežične mreže – WLAN, LoRa/LoRaWAN
  - Osobne mreže – Bluetooth, 6LowPAN
- (Horizontalne) platforme za ostvarivanje usluga
- Povezane tehnologije
  - Računarstvo u oblaku i magli
  - Velika količina podataka
- Standardizacija i interoperabilnost imaju ključnu ulogu!

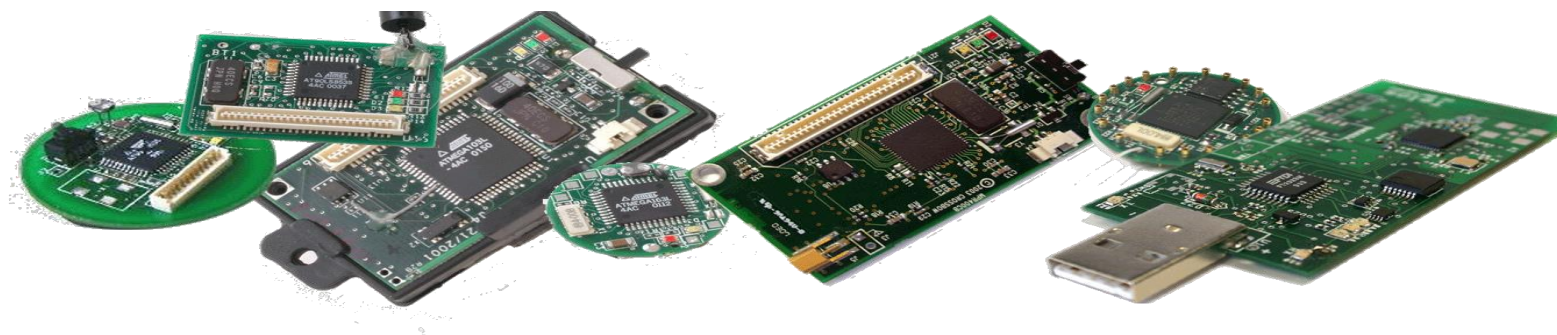
# Sadržaj

- Internet stvari (engl. *Internet of Things*, IoT)
- Sloj uređaja
- Sloj podatkovne poveznice: M2M-komunikacija
- Primjeri uređaja/prilaza za IoT

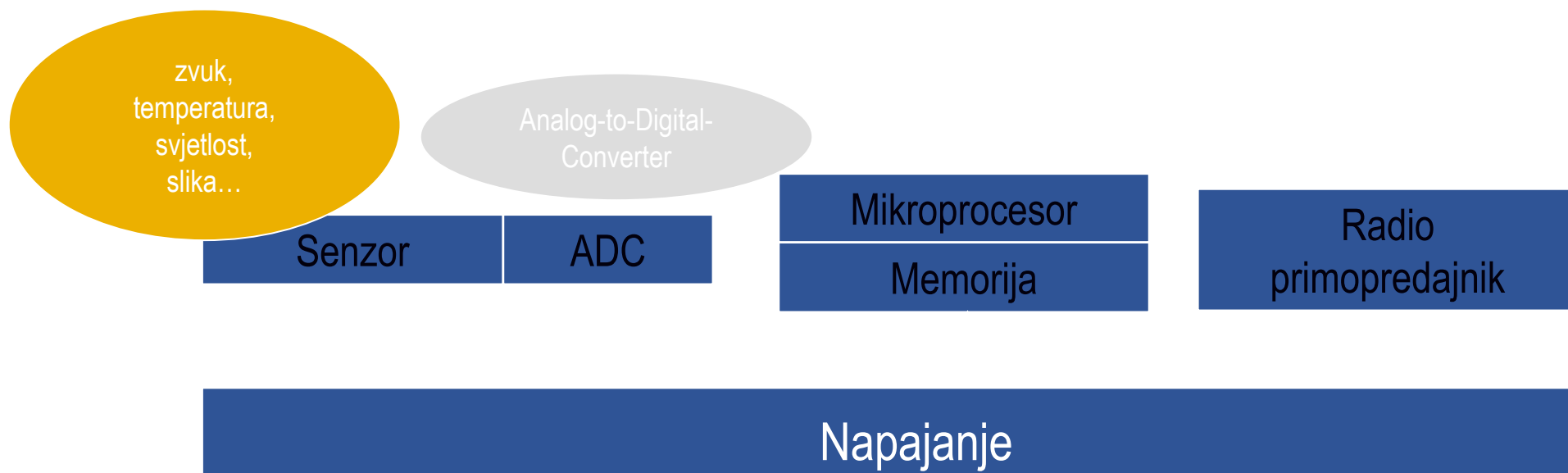
# IoT-uređaj (senzorski čvor)

*remote sensor, mote, smart dust*

- uređaj za opažanje fenomena iz okoline, malih je dimenzija, troši malo energije (baterija), te posjeduje ograničene resurse
- primjena: mjeri atmosferske promjene, temperaturu, tlak, svjetlost, vibracije, ubrzanje, opaža zvuk/sliku (mikrofon, kamera)
- podatke šalje bežično do sljedećeg senzora ili do usmjeritelja (engl. *gateway*, GW) koji je povezan na Internet, nastaje bežična senzorska mreža (engl. *Wireless Sensor Network*, WSN)



# Komponente IoT-uređaja



- sastoji se od komponenti za opažanje i mjerenje fenomena iz okoline, procesora i memorije te komponente za komunikaciju
- ograničeno komunikacijsko područje pokrivanja zbog ograničenog napajanja



# Aktuatori

## *actuator*

- uređaj koji djeluje na okolinu, izvodi određenu akciju u okolini
- u kombinaciji sa senzorima na temelju očitavanja iz okoline djeluju na okolinu

## *stvar* – (pametni) uređaj – IoT-uređaj

- procesorska jedinica
- senzor i/ili aktuator
- komunikacijska jedinica
- napajanje

# Obilježja hardvera

## Zahtjevi

- izrazito male dimenzije
- mala potrošnja energije
- niska cijena
- umrežavanje na načelu samoorganizacije
  - najčešća uporaba u područjima bez postojeće mrežne infrastrukture
  - omogućiti umrežavanju uz slučajan raspored senzora na nekom zemljopisnom području
  - umrežavanje “pokretnih senzora”
  - veliki broj veza

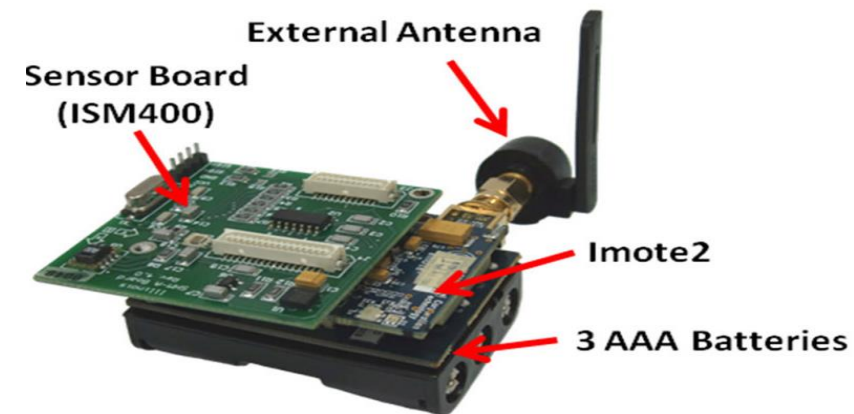
## IoT-uređaj ima izrazito ograničene resurse

- napajanje: baterija (najčešće), solarne ćelije, vibracija, itd.
- mikroprocesor: samo osnovna procesorska svojstva radi niske potrošnje energije, ograničenih dimenzija i niske cijene
- memorija: ograničena, može pohraniti samo mali dio detektiranih podataka
- područje pokrivanja radio predajnika: relativno malo, troši najviše energije (snaga signala opada s kvadratom udaljenosti)

# Primjeri IoT-uređaja

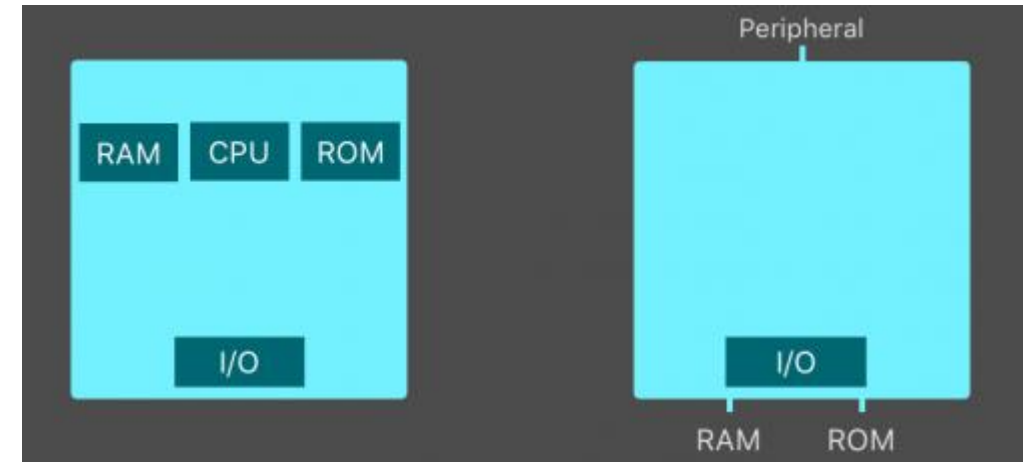
- Pioniri: Mica2 (Crossbow), IntelMote2 ili iMote2 (Intel, Crossbow)
- WaspMote (Libelium):  
WaspMote is Libelium's advanced mote for Wireless Sensor Networks.

<http://www.libelium.com/development/waspMote/documentation/waspMote-datasheet/>



# Mikroprocesori i mikrokontroleri

- Mikrokontroler – na jednom čipu su integrirani:
  - Radna memorija (RAM)
  - Memorija iz koje se podaci samo čitaju (ROM)
  - Interna sabirnica za komunikaciju s drugim entitetima



# Podjela mikrokontrolera

- Po bitovima
  - 8, 16, 32, 64
- Po arhitekturi - modeli
  - Von Neumann
  - Harvard
- Arhitektura
  - ARM
  - MIPS
  - x86

# Bitna svojstva mikrokontrolera

- Procesorska snaga
- Memorija
- Potrošnja energije
- Brzo buđenje
- Komunikacijski moduli
- Sigurnost, enkripcija

# Sadržaj

- Internet stvari (engl. *Internet of Things*, IoT)
- Sloj uređaja
- Sloj podatkovne poveznice: M2M-komunikacija
- Primjeri uređaja/prilaza za IoT

# Protokolni složaj IoT

## TCP/IP

Aplikacijski
Transportni
Mrežni
Pod. povez.
Fizički

## IoT

COAP, MQTT
TCP/UDP
IPv4/IPv6
IEEE 802.15.4 Wi-Fi, WLAN NB-IoT, LTE-M

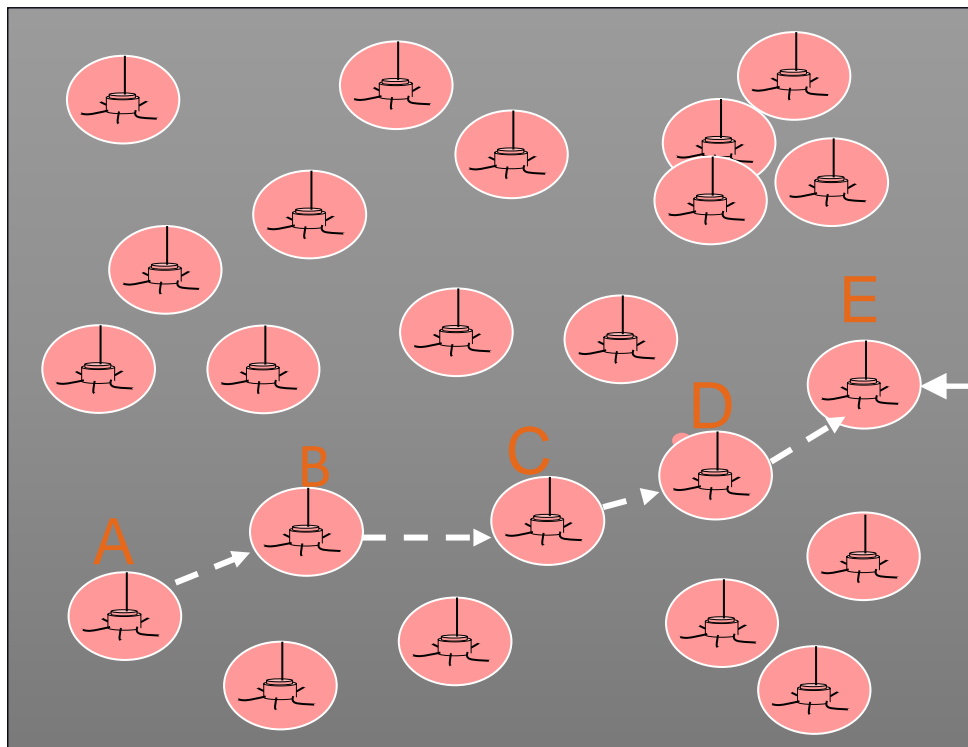
Pristup mreži  
Komunikacija uređaja  
M2M

Senzori/uređaji



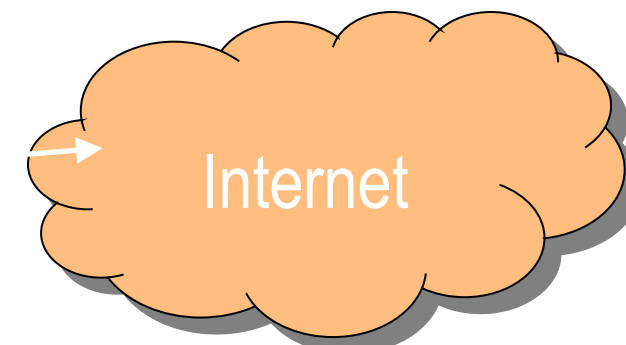
# Bežična mreža senzora (WSN)

“preteča” današnjih rješenja za IoT



Mrežu senzora čini skup senzora na nekom zemljopisnom području koji međusobno surađuju.

Sink



Senzori detektirane podatke šalju do posebnog čvora (*sink*) – može imati vezu na Internet

# Razlike u odnosu na ad hoc mreže

- broj senzora u mreži je znatno veći nego broj čvorova u adhoc mreži
- senzori se postavljaju gusto zbog komunikacijskih ograničenja
- senzori su skloni ispadima, česta izmjena baterija
- topologija mreže senzora je stabilnija
- senzori često nemaju globalni identifikator
- vrlo ograničeni resursi

# Različite vrste mreža senzora

- Kopnena mreža senzora
  - 100 do 1000 jeftinih senzora raspoređenih slučajno ili planski na ograničenom zemljopisnom području
- Podzemna mreža senzora
  - nešto skuplji senzori se ugrađuju u zemlju, stijene, glečere, itd.
  - planski raspored senzora, sink je na površini
- Podvodna mreža senzora
  - vrlo skupi senzori, prenose ih često podvodna vozila, ograničena bežična komunikacija pod vodom
- Višemedijska mreža senzora
  - senzori s kamerama i mikrofonima, raspoređuju se planski
- Pokretna mreža senzora
  - senzori na pokretnim telefonima, robotima, vozilima, u interakciji su sa statičkim sensorima u okolini

# Izazovi

- **Raspored senzora** na zemljopisnom području
  - planski ili slučajan (ovisi o primjeni)
  - utječe na potrošnju energije koja je ključna za neke aplikacije
  - često je nemoguće sve senzore postaviti u blizinu čvora sink
- **Strategije slanja podataka sa senzora** prema sinku (**ovisi o primjeni!**)
  - kontinuirana periodička isporuka
  - slanje na temelju opaženog značajnog događaja
  - slanje odgovora na eksplicitni upit
- Senzori mogu generirati redundantne podatke
  - “čišćenje” i agregacija podataka u samoj mreži tijekom prijenosa (eliminacija duplikata, min, max, average...)

# M2M

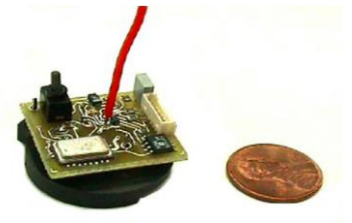
*Machine-to-Machine, M2M*

*Machine Type Communication, MTC*

- Sustavi temeljeni na komunikaciji uređaja
  - bez, ili samo s ograničenom intervencijom čovjeka
  - jednostavni i/ili pametni (engl. *smart*) uređaji
  - komunikacija se ostvaruje različitim mrežnim tehnologijama

# Machine-to-Machine

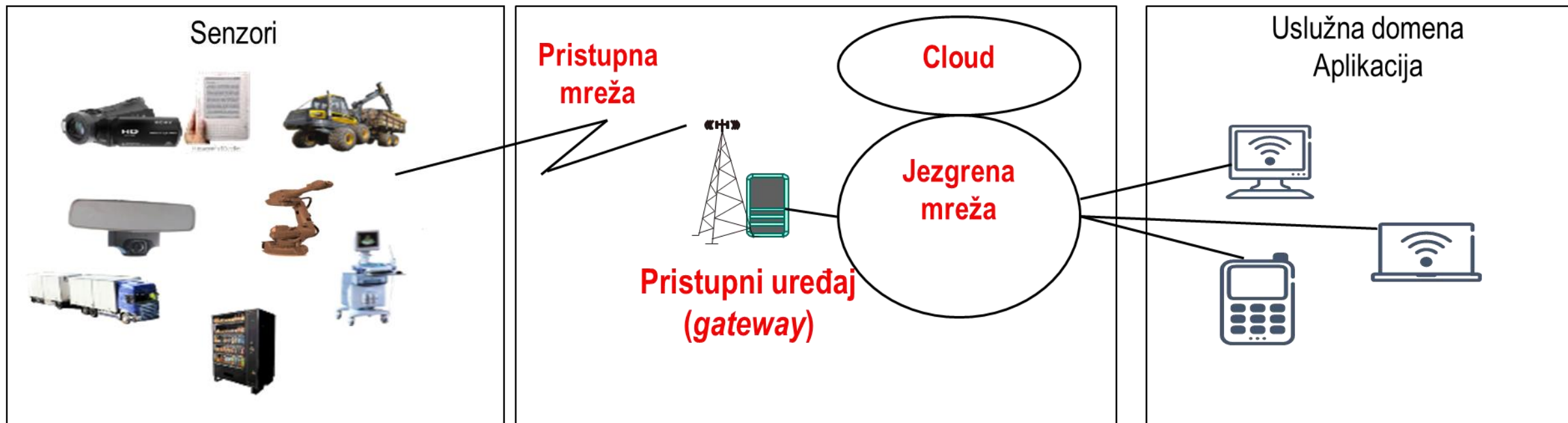
- Machine-to-Machine
  - **senzori** (mjerjenje protoka vode, temperature,...), pametna osjetila
  - aktuatori, ugrađeni procesori,...
- Machine-to-Machine
  - mreža koja omogućava komunikaciju krajnjih uređaja
  - pristupna mreža (bežična, pokretna, žična)
  - jezgrena mreža
  - **pristupni uređaj** (engl. *gateway*)
- Machine-to-Machine
  - **računalni sustav** koji upravlja drugim uređajima
  - računala i pokretni uređaji koji prikazuju informacije



# M2M

Bežična, pokretna, žična

Bežična, pokretna, žična



Uređaji

Mreža

Uređaji

Mreža senzora

M

2

M

# Uređaji

- IoT-uređaji

- spajaju senzore i aktuatori
- Mogu biti povezani na
  - bežičnu mrežu
    - kapilarna mreža/kratki domet – NFC, RFID (cm)
    - Bluetooth Low Energy (BLE) – IEEE 802.15.1, 6LoWPAN, LR-WPAN (XBee, ZigBee) - IEEE 802.15.4 (m)
    - WLAN, WiFi - IEEE 802.11, (m)
    - WiMAX – IEEE 802.16, LoRaWAN, Sigfox (km)
  - pokretnu mrežu (km)
    - 2G/3G (EC-GSM-IoT)
    - 4G/5G (LTE-M, NB-IoT)
  - žičnu mrežu
    - fiksna mreža, xDSL, parica, optika (FTTH)



# Mreža

- Jezgrena mreža
  - veza s korisnikom
  - internetska mreža
  - uslužne aplikacije
- Pristupni uređaj (engl. M2M *gateway*)
  - povezuje pristupnu i jezgrenu mrežu
  - NAT, sigurnost
  - (de)fragmentacija IP-paketa,...

# NFC i RFID

- Near Field Communication

- 13.56 MHz
- 106-424 kbit/s
- domet do 10 cm
- koristi elektromagnetsku indukciju za komunikaciju
- aktivni i pasivni uređaji

- Radio-Frequency Identification

- radijski predajnik i prijamnik (tag)
- aktivni (imaju bateriju) i pasivni uređaji (indukcija)

# Sadržaj predavanja

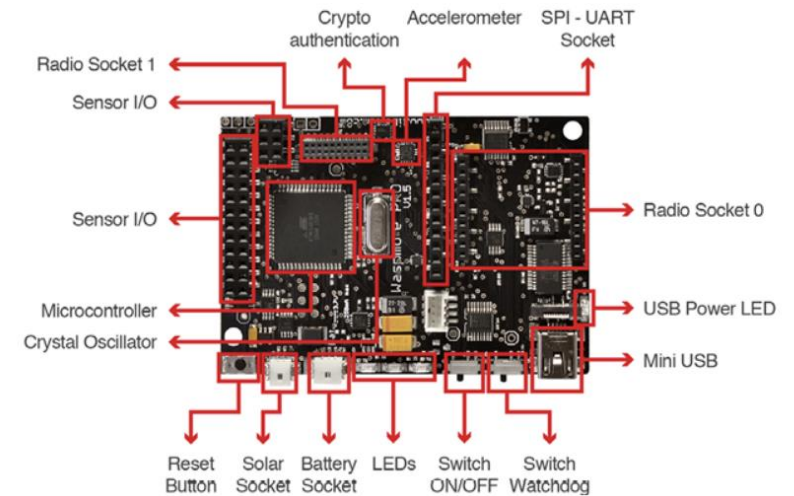
- Internet stvari (engl. *Internet of Things*, IoT)
- Sloj uređaja
- Sloj podatkovne poveznice: M2M-komunikacija
- Primjeri uređaja/prilaza za IoT

# IoTLab@FER

- Wasp mote
- ESP32
- Pycom
- Raspberry Pi
- Strato Pi

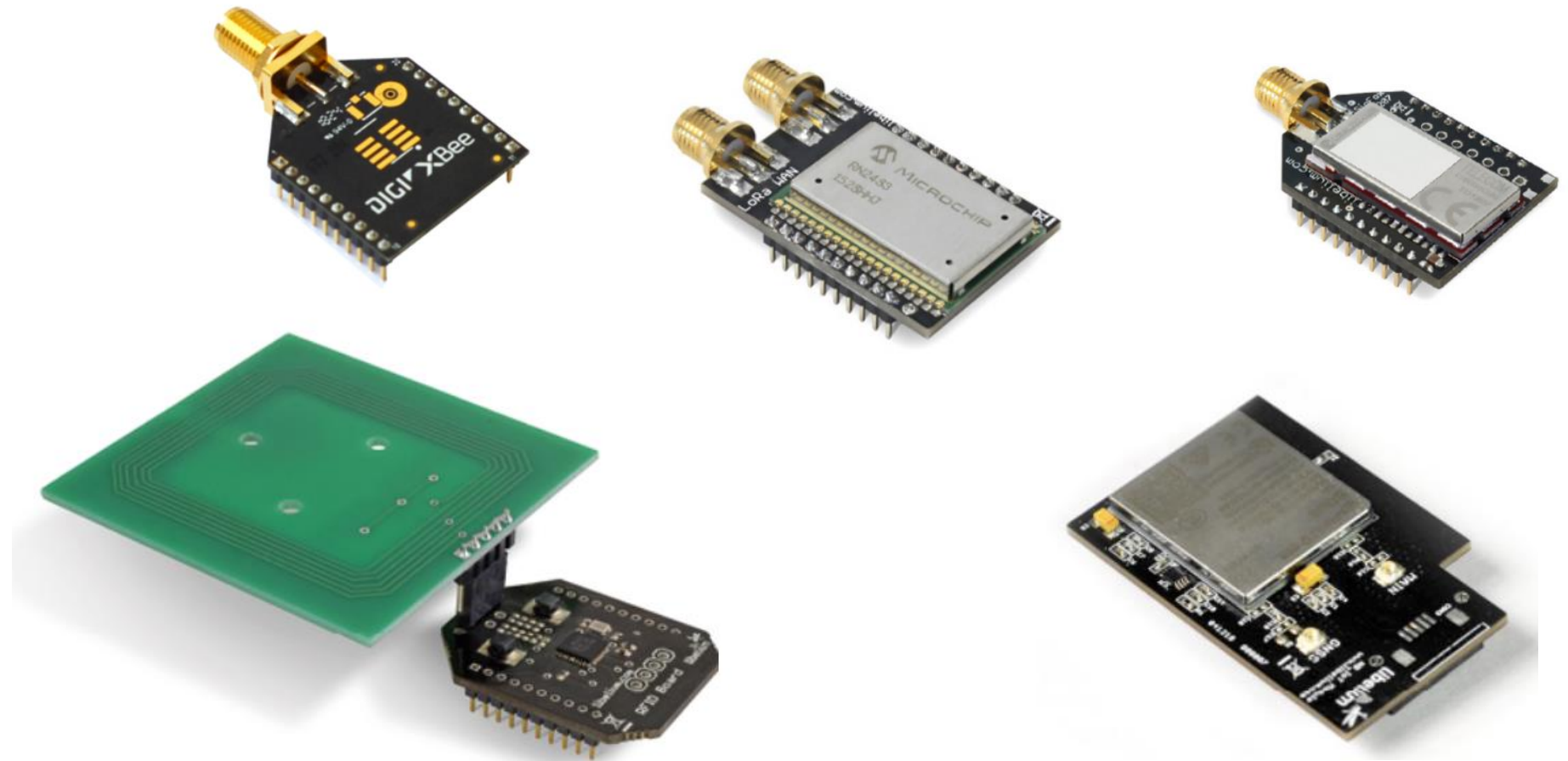
# Libelium Wasp mote

- Mikrokontroler ATmega1281
- Frekvencija: 14MHz
- SRAM (statička radna memorija): 8KB
- EEPROM (obrisiva programabilna stalna memorija): 4KB
- FLASH (stalna memorija – brisanje u blokovima): 128KB
- SD kartica: 2GB



# Komunikacijski moduli

- XBee
- Bluetooth
- WiFi
- NB-IoT
- LoRaWAN
- Sigfox
- RFID/NFC



# Senzorske pločice (engl. *sensor board*)

- Događaji (engl. *events*)
  - Senzor za pristupstvo
  - Temperatura
  - Protok vode
  - Magnetski senzori za vrata i prozore
- Pametni gradovi (engl. *smart cities*)
  - Kvaliteta zraka (plinovi, prašina)
  - Glasnoća
  - Detekcija pukotina u zgradama



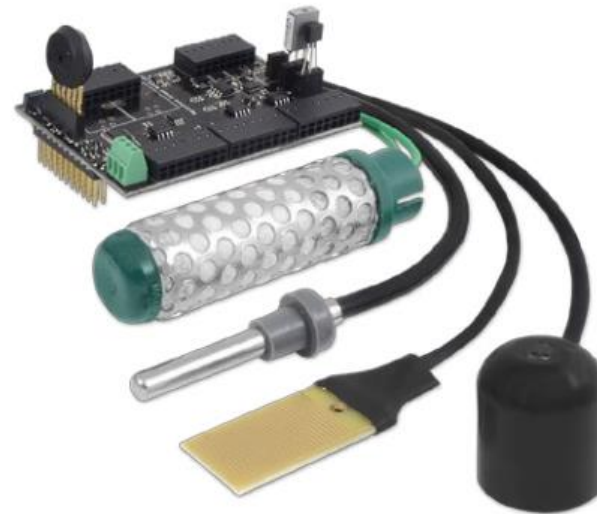
# Senzorske pločice (2)

- Poljoprivreda (engl. *agriculture*)

- Vlažnost listova
- Promjer plodova
- Vlažnost tla

- Video kamera

- Snimanje videa
- Snimanje fotografija
- Video-poziv





# ESP32

- CPU: Xtensa dual-core 32-bitni LX6 mikroprocesor
  - RAM: 520 KB na mikroprocesoru + 16KB na RTC-u
  - ROM: 448 KB
  - vanjska memorija (flash): 4MB
- 
- Sučelja: UART (*universal asynchronous receiver-transmitter*), SPI (*serial peripheral interface*), I2C (*inter-integrated circuit*), SD kartica
  - Komunikacijski moduli: WiFi, Bluetooth



# pycom fipy

- Espressif ESP32 SoC
- CPU: Xtensa dual-core 32-bitni LX6 mikroprocesor
- RAM: 520 KB na mikroprocesoru + 16KB na RTC-u + 4MB eksterno
- vanjska memorija (flash): 8MB

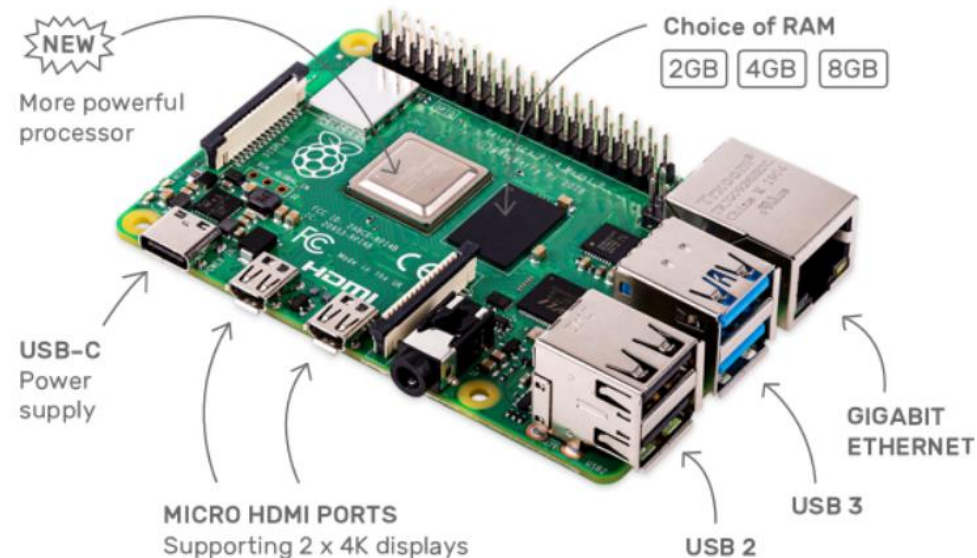


# pycom fipy – komunikacijski moduli i senzori

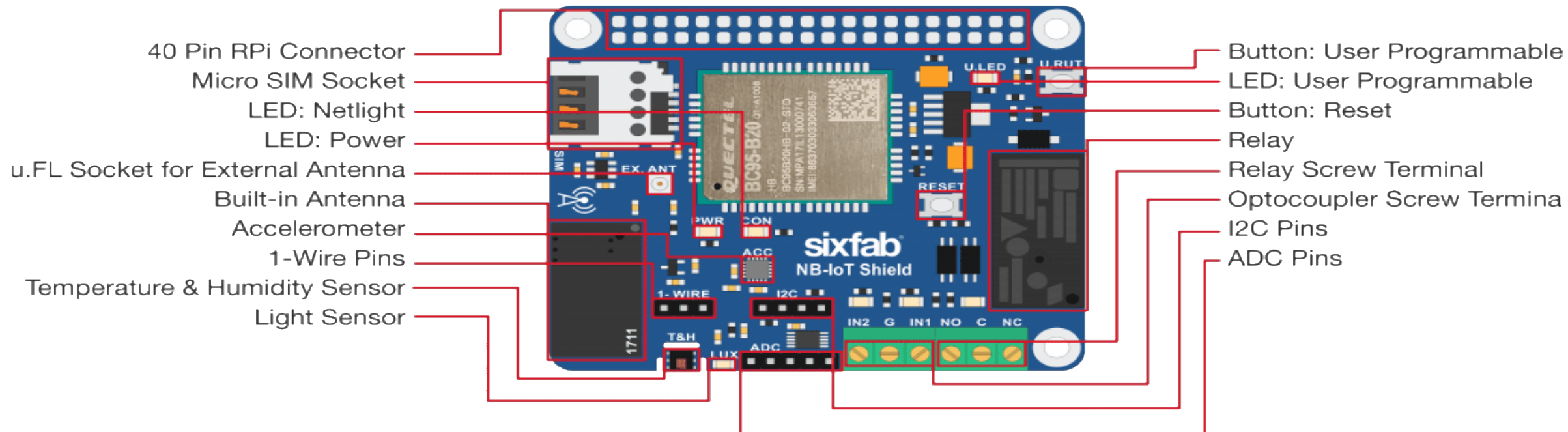
- LoRa
  - Sigfox
  - NB-IoT
- 
- WiFi
  - Bluetooth
- 
- 22GPIO *pina*, sučelja: UART (*universal asynchronous receiver-transmitter*), SPI (*serial peripheral interface*), I2C (*inter-integrated circuit*), SD kartica

# Raspberry Pi

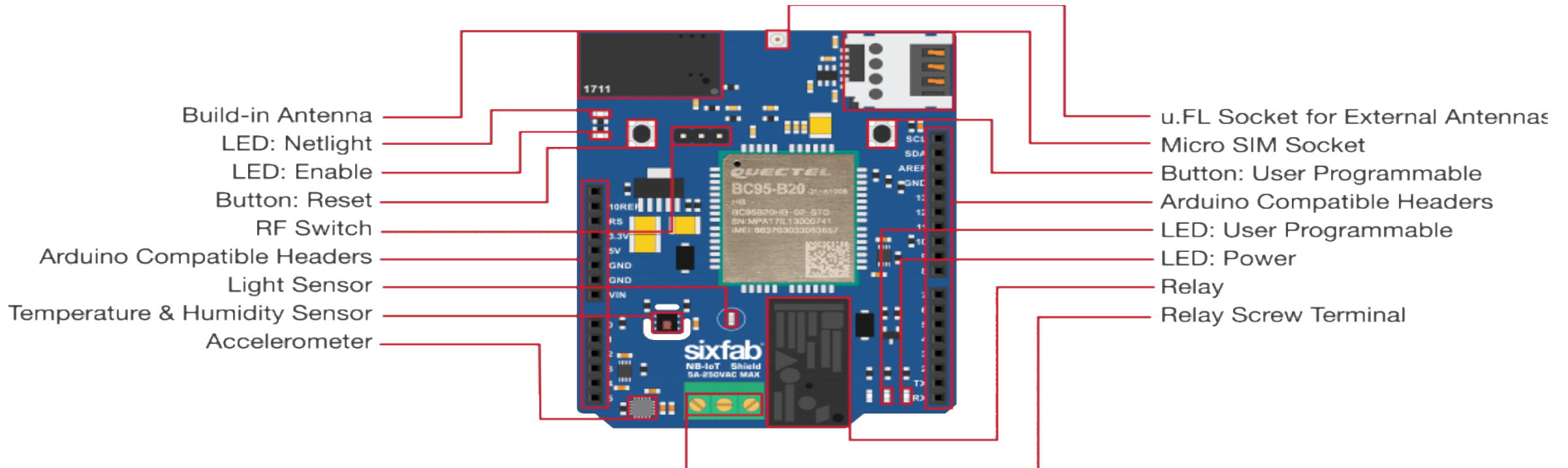
- CPU: Broadcom, quad-core 64-bitni  
ARM A72
- Frekvencija: 1.5 GHz
- RAM: 2/4/8 GB



# Sixfab Raspberry Pi NB-IOT



# Sixfab Arduino NB-IOT



# Strato Pi

- Raspberry Pi za profesionalno i industrijsko okruŹje
- Stabilnije napajanje
- integrirano neprekidno napajanje (engl. *uninterruptible power supply*, UPS)
- SadrŹi RTC (RPi ga nema)
- PodrŹka za serijsku komunikaciju (protokol RS-485) i komunikaciju preko sabirnice CAN (engl. *Controller Area Network*)



# Literatura

1. C. Aggarwal, N. Ashish, and A. Sheth. [The Internet of Things: A Survey from The Data-Centric Perspective](#), Book Chapter in "Managing and Mining Sensor Data", Springer, 2013.
2. Charith Perera, Chi Harold Liu, Srimal Jayawardena. "[The Emerging Internet of Things Marketplace From an Industrial Perspective: A Survey](#)", IEEE Transactions On Emerging Topics In Computing 01/2015;
3. Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, Dipak Ghosal, "[Wireless sensor network survey](#)," *Computer Networks*, Vol. 52, No. 12, pp. 2292-2330, August 2008.
4. Feng Wang; Jiangchuan Liu; , "[Networked Wireless Sensor Data Collection: Issues, Challenges, and Approaches](#)," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol.13, no.4, pp.673-687, Fourth Quarter 2011



# Literatura

- J. Brown: “Machine-2-Machine, Internet of Things, Real World Internet”, 2011.
- D. Boswarthick, O. Elloumi, O. Hersent: “M2M Communications: A Systems Approach”, Wiley, 2012.
- “M2M: Growth Opportunities for MNOs in developed Markets (Sample Pages)”, Mobile Market Development Ltd., 2010.
- V. Galetić, I. Bojić, M. Kušek, G. Ježić, S. Dešić, D. Huljenić: “Basic principles of Machine-to-Machine communications and its impact on telecommunication industry” *MIPRO 2011*, pp. 380-385, 2011.
- “Machine to Machine Communications”, <http://www.etsi.org/website/technologies/m2m.aspx>
- “M2M goes global: OneM2M”, <http://open.actility.com/node/104>, 2012.
- ETSI Technical Report 102 691: “Smart Metering Use Cases”, v1.1.1, 2010.
- [oneM2M Use cases collection, Technical Report, 2013.
- “Machine to Machine Communications”, <http://www.etsi.org/website/technologies/m2m.aspx>
- Katušić, D.; Ježić, G.; Marčev, A.; Vulas, R., Machine-to-Machine: Emerging Market and Consequences on Existing Regulatory Framework, Proceedings The 3rd Workshop on Electronic Communications Regulatory Challenges in the Electronic Communications Market, ConTEL 2013, 317-324, 2013.